

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 36 078 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 01 V 3/11**  
G 01 V 3/15  
G 01 V 3/38

② Aktenzeichen: P 44 36 078.9  
② Anmeldetag: 10. 10. 94  
③ Offenlegungstag: 11. 4. 98

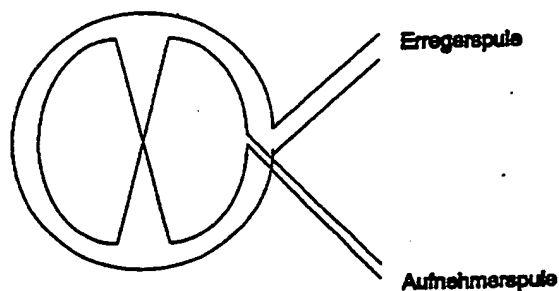
DE 44 36 078 A 1

⑦1 Anmelder:  
Dornier GmbH, 88090 Immenstaad, DE  
  
⑦4 Vertreter:  
Landsmann, R., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 88677 Markdorf

⑦2 Erfinder:  
Eschner, Wolfgang, Dipl.-Phys. Dr., 88048  
Friedrichshafen, DE; Koch, Ralph, Dr., 88048  
Friedrichshafen, DE; Kramer, Jürgen, 88690  
Uhdingen-Mühlhofen, DE; Neumeyer, Bernhard,  
Dr., 88090 Immenstaad, DE; Ulbrich, Rainer, Dr.,  
88094 Oberteuringen, DE

⑥4 Bildgebendes hochauflösendes Sensorsystem zu Detektion, Ortung und Identifizierung von metallischen Objekten

⑤7 Bildgebendes hochauflösendes Sensorsystem zur Detektion, Ortung und Identifizierung von metallischen Objekten, die sich unter der Erdoberfläche befinden, wobei das Sensorsystem mindestens ein rotierendes Sensormodul enthält.



DE 44 36 078 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Sensorsystem zur elektronischen Detektion von metallischen Objekten, die sich unter der Erdoberfläche befinden.

5 Metallische Objekte unter der Erdoberfläche können beispielsweise militärische und industrielle Altlasten sein, die eine hohe Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen.

Zur Abwendung dieser Gefahr werden nach dem Stand der Technik belastete Gelände mit Metalldetektoren per Hand abgesucht und jedes gefundene Objekt ausgegraben. Neben den gefährlichen Objekten befinden sich im Boden oftmals noch eine große Zahl ungefährlicher metallischer Objekte wie Nägel, Dosen und Verschlüsse, die mit herkömmlichen Metalldetektoren nicht von gefährlichen Objekten unterschieden werden können. Daher müssen nach dem Stand der Technik alle gefundenen Objekte geborgen werden, obwohl die weit überwiegende Menge ungefährlich ist und im Boden verbleiben könnte. In vielen belasteten Geländen kommt im Schnitt auf ca. 1000 metallische Objekte nur ein zu bergendes gefährliches Objekt. Die daraus resultierende Alarmrate hat in einem solchen Fall die tausendfache Ausgrabezeit im Vergleich zum Idealfall zur Folge, in dem genau das einzige gefährliche Objekt gefunden und ausgegraben wird.

Da alle Objekte eine Mindestmenge an Metallen enthalten, besteht das zu lösende Problem darin, durch magnetische Messungen gefährliche Objekte von ungefährlichen zu unterscheiden. Besonders schwierige Verhältnisse liegen vor, wenn die gefährlichen Objekte sehr klein sind, und diese auch noch in der unmittelbaren Nachbarschaft von großen anderen Objekten liegen.

20 Aufgaben der Erfindung sind die hochauflösende magnetische Messung der oberen Erdschicht, die Echtzeitdarstellung der gewonnenen Meßwerte auf einer Karte und die Klassifizierung der gefundenen Objekte. Die Klassifizierung ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Anzahl auszugrabender Objekte. Zeit und Kosten für die Bodensanierung sowie Gefahren für das Räumpersonal werden beträchtlich vermindert. Die Lösung der Aufgabe ist Gegenstand des Hauptanspruchs und der Unteransprüche.

25 Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die laterale und vertikale Auflösung herkömmlicher Metalldetektoren und Magnetfeldsonden erheblich verbessert wird. Diese erhöhte Auflösung wird dadurch realisiert, daß einerseits die Sensorsignale mit einem höheren Dynamikumfang von 22 mit entsprechend 130 dB ausgewertet werden und andererseits eine Modellrechnung zur Rekonstruktion der Meßsignale durchgeführt wird. Bei dieser Modellrechnung werden die dreidimensionale Position von Gegenständen, deren Form und Größe, aber auch ihre elektrischen und magnetischen Materialparameter bestimmt. Aus diesen errechneten Daten von Tiefe, Größe, Form und Material der metallischen Objekte führt das erfindungsgemäße Sensorsystem eine Klassifizierung der gefundenen Objekte durch, die die wesentliche Entscheidung ermöglicht, welche Objekte als ungefährlich oder uninteressant im Boden verbleiben können.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert.

35 Es zeigen:

Fig. 1 schematische Darstellung eines zum Stand der Technik gehörenden aktiven Metalldetektors,

Fig. 2 schematische Darstellung eines erfinderischen aktiven Gradienten-Metalldetektors,

Fig. 3 typische Signalform für einen zum Stand der Technik gehörenden Metalldetektor mit dem Durchmesser D beim Überfahren einer Metallkugel,

40 Fig. 4 typische Signalform für einen erfindungsgemäßen Gradienten-Metalldetektor mit dem Durchmesser D beim Überfahren einer Metallkugel,

Fig. 5 schematische Darstellung eines aktiven Doppel-Gradienten-Metalldetektors,

Fig. 6 eine lineare zweidimensionale Array-Anordnung mit Doppel-Gradienten-Metalldetektoren und Drei-Achsen-Fluxgate-Magnetometer,

45 Fig. 7 kreisförmige Anordnung der Sensoren von Fig. 6,

Fig. 8 eine Darstellung des erfinderischen Sensorsystems und seiner Beschaffenheit und

Fig. 9 eine Darstellung des Sensormoduls.

## 1. Magnetsensorik

50 Um das magnetische Bild des zu untersuchenden Geländes aufzunehmen, werden sowohl aktive Sensoren (Metalldetektoren) als auch passive Sensoren (Magnetfeldsonden) eingesetzt.

## a) Metalldetektoren

55 Als Metalldetektoren werden Gradienten-Metalldetektoren benutzt. Sie unterscheiden sich von herkömmlichen Metalldetektoren (Fig. 1) dadurch, daß die Aufnehmerspule in zwei gegeneinander geschaltete Spulen (Spulenpaar) aufgeteilt ist (Fig. 2) und damit eine Feld-Gradientenkomponente gemessen wird. Die Meßsignale eines herkömmlichen Metalldetektors und eines Gradienten-Metalldetektors für eine Metallkugel sind in den Fig. 3 und Fig. 4 gegenübergestellt. Der Signalhub unterscheidet sich für die beiden Varianten nicht, allerdings halbiert sich die Halbwertsbreite der Signale und damit die laterale Auflösung beim Gradienten-Metalldetektor auf die Größe des halben Durchmessers der Erregerspule. Der Vorteil der Auflösungsverbesserung wird jedoch nur dann voll genutzt, wenn der Feldgradient in beiden horizontalen Richtungen gemessen wird. Das bedeutet, daß ein zweites Aufnehmerspulenpaar, das in der Meßebeane senkrecht zum ersten Spulenpaar orientiert ist, vorhanden sein muß und mitgemessen wird. Dieser Doppel-Gradienten-Metalldetektor (Fig. 5) wird von einer gemeinsamen Erregerspule betrieben. Diese Anordnung wird im folgenden als Hardware-Gradiometer bezeichnet.

Durch rechnerische Differenzierung der Meßwerte, die man durch zweidimensionales Rastern mit einem

herkömmlichen Metalldetektor erhält, errechnet man dieselben Gradientenkomponenten die auch ein Doppel-Gradienten-Metalldetektor mißt. Der Unterschied zwischen diesem "Software-Gradiometer" und dem Hardware-Gradiometer besteht darin, daß beim Hardware-Gradiometer kohärente Störsignale durch die simultane Differenzbildung sofort eliminiert werden und beim Software-Gradiometer nicht. Das Signal-Rauschen ist bei letzterem daher höher. Weiterhin muß für das Software-Gradiometer das Meßrastraster feiner gelegt werden. Es muß also länger gemessen werden. Das in dem erfindungsgemäßen Sensorsystem eingesetzte Hardware-Gradiometer erlaubt daher eine größere Suchleistung. Zur Beseitigung von Störungen, die z. B. durch paramagnetische oder feuchte Erdböden verursacht werden, wird ein Mehrfrequenzverfahren eingesetzt.

#### b) Magnetfeldsonden

Um möglichst einfach ein zweidimensionales Bild des Magnetfeldes von einem Gelände zu bekommen, werden bei geophysikalischen Messungen meistens Absolutfeld-Meßgeräte wie Protonenresonanz-Magnetometer eingesetzt. Die Meßergebnisse dieser Magnetometer sind unabhängig von der räumlichen Lage der Meßinstrumente, und die Meßwerte sind somit unabhängig von Verdrehungen und Verkippungen. Sie haben allerdings den Nachteil, daß sich ihr Meßfrequenzbereich auf maximal 1 Hz beschränkt. Bei der magnetischen Untersuchung eines Geländes mit hoher Ortsauflösung sind jedoch hohe Meßfrequenzen größer als 100 Hz erforderlich, damit sich die Meßzeit in einem realistischen Rahmen bewegt. Für das als Gegenstand der Erfindung zu beschreibende Gerät werden daher 3-Achsen-Fluxgate-Magnetometer eingesetzt. Sie erlauben Meßfrequenzen bis zu 1 kHz. In einem Kalibrierverfahren werden die einzelnen Empfindlichkeiten der 3 Magnetometer bestimmt. Mit deren Hilfe wird aus den einzelnen Meßwerten rechnerisch der Absolutwert des Magnetfeldes ermittelt. Dieser Teil des erfindungsgemäßen Sensorsystems stellt ein schnelles Absolutwert-Meßgerät dar. Dynamikumfang und Linearität des Fluxgate-Magnetometers erlauben noch Feldauflösungen von weniger als 1 nT.

Natürliches und menschlich erzeugtes magnetisches Rauschen liegt im Frequenzband bis 100 Hz je nach Umgebung bei einigen 100 nT. Um dieses Rauschen und das Erdmagnetfeld, das den Meßfeldern stets überlagert ist, zu eliminieren, muß noch ein weiteres Referenz-Magnetometer installiert werden. Auch für das Referenz-Magnetometer wird der Betrag des Magnetfeldes gebildet. Die Differenz zwischen den Quadraten der Meßergebnisse des Meß-Magnetometers und des Referenz-Magnetometers lauten dann:

$$\Delta S^2 = (S_1 + B_1 + r)^2 - (S_2 + B_2 + r)^2 = (S_1 + S_2 + B_1 + B_2 + 2r) \cdot (S_1 - S_2 + B_1 - B_2)$$

$S_1, S_2$  = zu messende Magnetfelder an den Orten der Magnetometer

$B_1, B_2$  = Erdmagnetfeld an den Orten der Magnetometer

$r$  = Rauschen

Wenn das Referenz-Magnetometer so plaziert ist, daß  $S_2 \approx 0$  und  $B_1 \approx B_2 = B_e$  ist, so folgt wegen  $B_e \gg r$  und  $B_e \gg S_1$

$$\Delta S^2 \approx 2 B_e \cdot S_1 = \text{const} \cdot S_1$$

Man erhält daher ein Signal proportional zum zu messenden Magnetfeld. Das Rauschen ist somit eliminiert.

#### c) Multisensor-Anordnung

Zur Erhöhung der Suchleistung, d. h. der abgesuchten Geländefläche pro Stunde, können mehrere Doppel-Gradienten-Metalldetektoren (Fig. 5) und Magnetfeldsonden in das Gerät integriert werden. Die Sensoren können dabei in einer zweidimensionalen linearen Anordnung (Fig. 6) oder auf einer Scheibe (Fig. 7) starr und/oder beweglich zueinander angeordnet sein.

#### d) Auflösungsverbesserung

Die Multi-Sensoranordnung kann zur Verbesserung der Ortsauflösung als ganzes bewegt werden. Zulässige Bewegungsformen sind zum Beispiel Schwingungen in drei Dimensionen und Rotationen.

Diese Bewegung kann gesteuert und/oder durch Sensoren vermessen werden.

#### e) Entkopplung der Metalldetektoren

Die Metalldetektoren beeinflussen sich durch ihr magnetisches Wechselfeld gegenseitig. Eine Entkopplung gewährleistet, daß ein Metalldetektor nicht oder nur unwesentlich das Magnetfeld des benachbarten Metalldetektor mitmißt.

Die Entkopplung der Metalldetektoren kann durch eine geometrische Anordnung, z. B. einen bestimmten Mindestabstand, durch zeitmultiplexen und/oder frequenzmultiplexen Betrieb und durch unterschiedliche Wahl von Betriebsfrequenzen erreicht werden.

#### 2. Sensormodul

Das erfindungsgemäße Sensorsystem (Fig. 8) besteht aus einem oder mehreren Sensormodulen (Fig. 9). Jedes Sensormodul (Fig. 9) enthält als wesentliche Komponenten mindestens einen aktiven Metalldetektoren (Fig. 9,

2, 4) und mindestens einen passiven Magnetfeldsensor 14.

Die aktiven Metalldetektoren bestehen aus jeweils zwei orthogonal zueinander angeordneten Gradiometern, die sich gemeinsam in einem Feld einer Erregerspule befinden, die mit mindestens zwei unterschiedlichen Erregerfrequenzen betrieben wird (Fig. 5).

Der passive Magnetfeldsensor 14 wird durch das Referenzmagnetometer 16 derart kalibriert, daß aus seinem Meßsignal das Erdfeldrauschen entfernt wird.

Die Meßdaten der Sensoren werden zusammen mit Daten eines Drehgebers 10 und eines Weggebers 8 von einer Meßwerterfassung 6 aufbereitet und über eine Übertragungsstrecke 12 an eine zentrale Steuerungs- und Verarbeitungseinheit 18 im Sensormodul 20 übertragen. Dort werden die Daten der verschiedenen Sensormodule gespeichert, verarbeitet, ausgewertet und dargestellt.

Die Suche mit dem erfindungsgemäßen Sensorsystem geschieht derart, daß ein Operator das hochgelöste zweidimensionale magnetische Bild des Bodens auf dem Monitor des Zentralrechners beobachtet. Er erhält somit eine Aufsicht auf das magnetische Bild der unter der Erdoberfläche befindlichen Objekte. Die Erkennung der Objekte kann interaktiv durch den Operator selbst oder automatisch durch ein Bildverarbeitungsprogramm durchgeführt werden. Wenn ein Objekt erkannt worden ist, erfolgt eine rechnerische Auswertung der Meßdaten zur Bestimmung von Tiefe, Form und Material und anschließend eine Klassifizierung des Objektes.

Der Ort der gefundenen Objekte wird auf der in Echtzeit erstellten Karte und durch eine Markierungseinrichtung auf dem Gelände bezeichnet.

### 3. System

Das erfindungsgemäße System von Fig. 8 wird im folgenden näher beschrieben.

#### a) Konfiguration

Das System ist modular aufgebaut und besteht aus einem oder mehreren Modulen (Fig. 9), wobei die Module ortsfest gegeneinander, aber einzelbeweglich, oder aber völlig starr miteinander verbunden sind.

Mögliche Konfiguration des Systems sind:

1. Ein Sensormodul handbetrieben oder fremdbewegt, wobei das Antriebsmittel in das Modul integriert ist.
2. Ein oder mehrere Sensormodule, die durch ein geeignetes Antriebsmittel bewegt werden.
3. Ein Leitstand mit Stromversorgung, mit optischer, elektrischer oder elektromechanischer digitaler Datenübertragung und Zentralrechner mit Anzeige und einem Auswertesystem, das sich im Sensormodul, im Antriebsmittel und/oder separat befinden kann.

Eine Positions- und Lagemessung kann sowohl im Sensormodul selbst oder beim Leitstand untergebracht sein. Diese kann über Wegmessung am Boden, auf optischen Wege mit zum Beispiel Laser-Trackern oder auf elektromagnetischem Wege über satellitengestützter Navigation mit Differenzbildung geschehen.

#### b) Entkopplung der Metalldetektoren im System

Wie bei der Magnetsensorik (1.e) müssen die Metalldetektoren im System entkoppelt werden. Dazu können die selben Hilfsmittel wie bei in 1.e) angewendet werden. Zudem kann durch geometrische Anordnung bei mehreren Sensormodulen und/oder durch Synchronisation der Bewegung der Sensoren eine Entkopplung erreicht werden.

#### c) Adaptive Auflösungssteuerung

Erkennt der Operator des Systems oder eine Auswerteeinheit ein Objekt, wird die Bewegungsgeschwindigkeit des Systems herabgesetzt. Durch die geringere Geschwindigkeit können in höherer Dichte Meßwerte genommen werden, so daß die Meßauflösung steigt. Mit der höheren Meßpunktdichte im zweidimensionalen Raster kann die Feinauflösung der magnetischen Signale durch die nachfolgende Datenverarbeitung gesteigert werden. Eine räumliche Trennung von kleinen und großen Gegenstände wird damit möglich.

### 4. Darstellung der Meßdaten und Auswertung

Die Meßwerte der Doppel-Gradienten-Metalldetektoren (Fig. 5) werden vorverarbeitet und farblich kodiert in einem zweidimensionalen Bild der abgesuchten Fläche dargestellt. Ergänzende Darstellungen, z. B. Isolinien, sind möglich. Die Meßdaten der Magnetfeldsonden können im selben Bild mit anderer Farbkodierung wiedergegeben werden. Dadurch können im Bild Objekte mit und ohne Eigenmagnetfeld voneinander unterschieden werden. Die Farbkodierung kann durch den Bediener der Meßsituation angepaßt werden. Die Meßwerte werden einem Auswerte-Rechner zugeführt. Erkannte Gegenstände werden dargestellt.

Ist die Flächenausdehnung des Gegenstandes groß genug, so kann eine Wirbelstromverteilung berechnet werden. Daraus kann dann die Form, Größe und die Tiefe sowie die Position des Gegenstandes ermittelt werden. Bei nichtmagnetischen Gegenständen wird deren Leitfähigkeit berechnet, bei magnetischen Gegenständen wird das magnetische Moment ermittelt.

Die erreichbare geometrische Ortsauflösung für dieses Meßverfahren wird durch das Nyquist-Theorem bestimmt.

24. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Meßdaten die Art des Materials der Objekte berechnet wird.

25. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß aus den berechneten Daten von Größe, Form und Material eine Klassifizierung der Objekte ermittelt wird.

5 26. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß für bestimmte Klassifizierungen von Objekten eine Identifikation errechnet wird.

27. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die klassifizierten/identifizierten Objekte ortsbezogen kartographiert werden.

10 28. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß Fundorte, Klassifizierungen und Identifikationen auf dem Bildschirm, dem Farbausdruck und auf dem Boden markiert werden.

29. Sensorsystem nach Ansprüchen 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Klassifizierung der Objekte auf dem Boden durch verschiedenfarbige Markierungen erkennbar gemacht wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

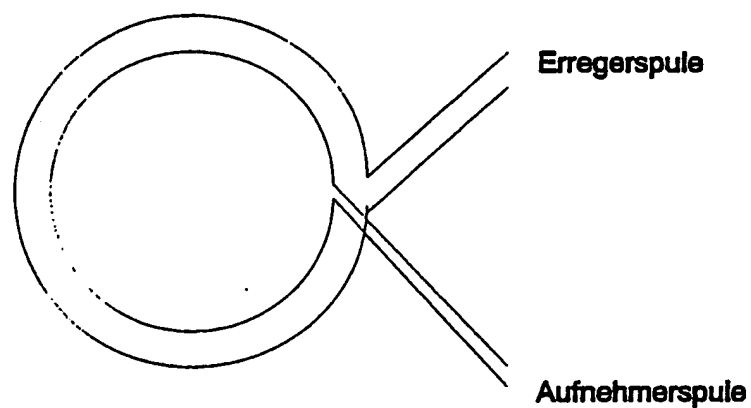
50

55

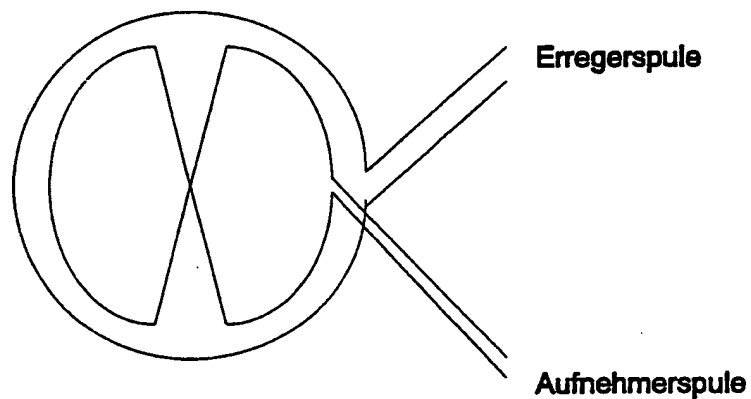
60

65

- Leerseite -

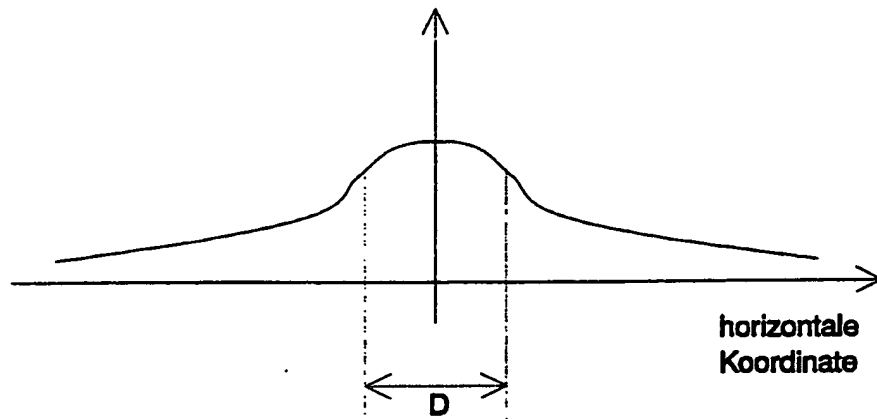


**Fig.1: Schematische Darstellung eines aktiven  
Metalldetektors**

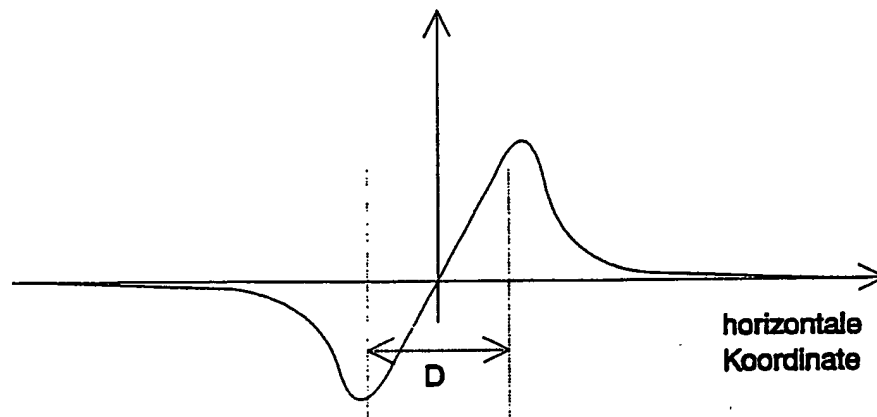


**Fig.2: Schematische Darstellung eines aktiven  
Gradienten-Metalldetektors**





**Fig. 3:** Typische Signalform für einen Metalldetektor mit dem Durchmesser  $D$  beim Überfahren einer Metallkugel



**Fig. 4:** Typische Signalform für einen Gradienten-Metalldetektor mit dem Durchmesser  $D$  beim Überfahren einer Metallkugel

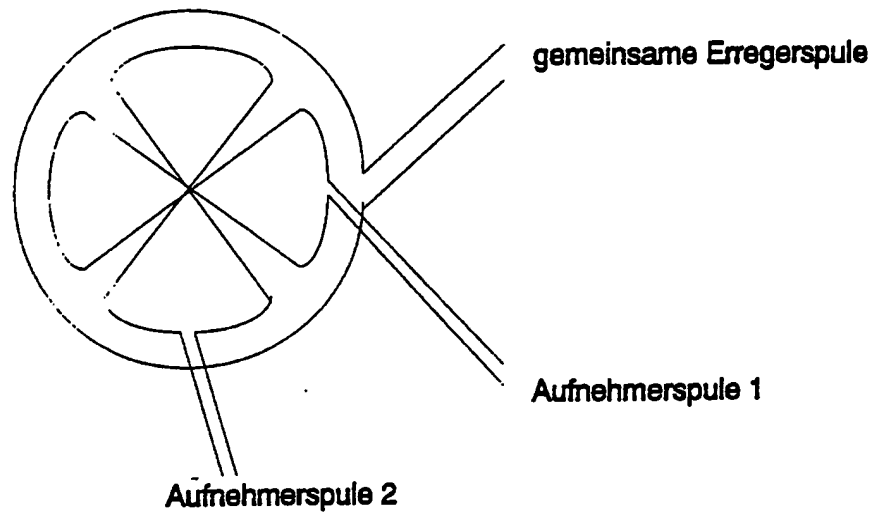


Fig.5: Schematische Darstellung eines aktiven Doppel-Gradienten-Metalldetektors

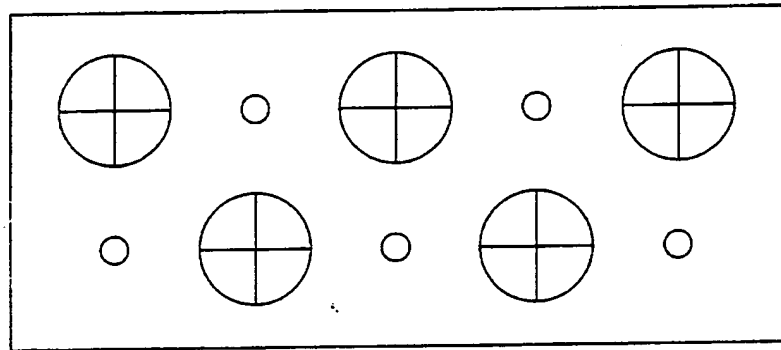


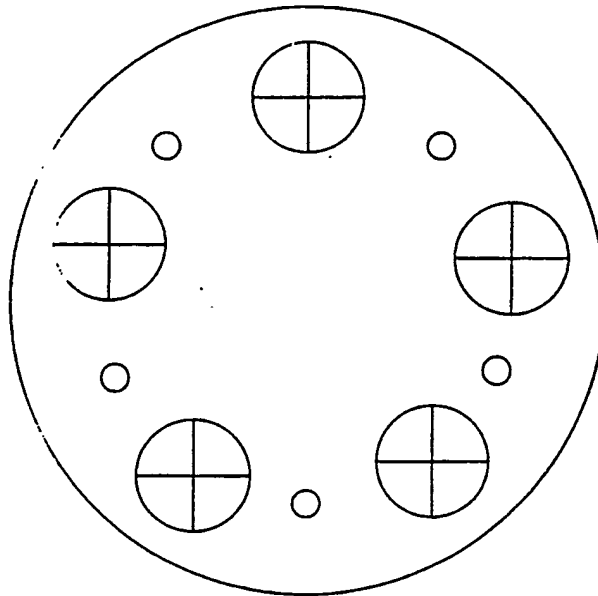
Fig. 6: Lineare, 2-dimensionale Array-Anordnung mit



= Doppel-Gradienten-Metalldetektor



= 3-Achsen-Fluxgate-Magnetometer



**Fig. 7: Kreisförmige Anordnung der Sensoren mit**



**= Doppel-Gradienten-Metalldetektor**



**= 3-Achsen-Fluxgate-Magnetometer**

Bewegte Teile sind schraffiert dargestellt.

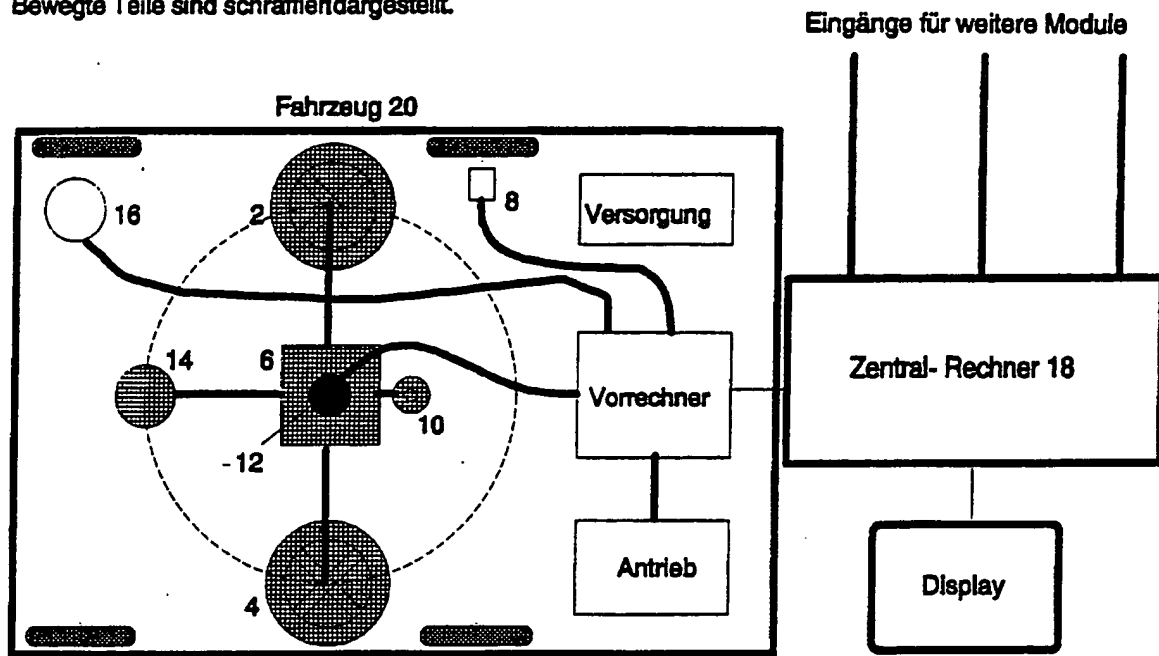


Fig. 8: Sensorsystem

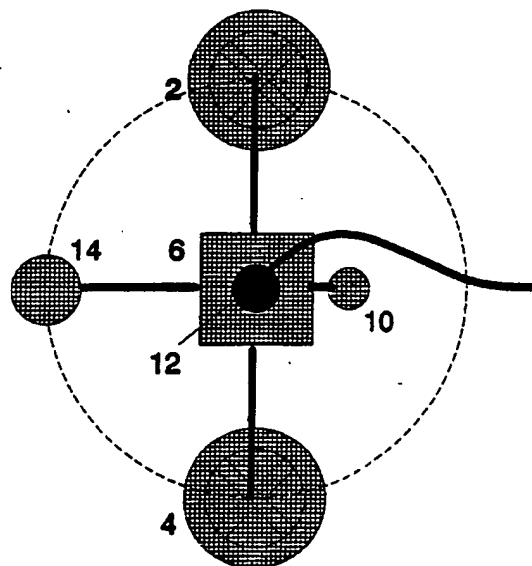


Fig. 9: Sensormodul



Creation date: 04-05-2004  
Indexing Officer: JSCHIAVONE - JONATHAN SCHIAVONE  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 09818700

Legal Date: 03-27-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	A...	1
2	CLM	17
3	REM	1
4	LET.	2

Total number of pages: 21

Remarks:

Order of re-scan issued on .....